

METHOD FOR DETECTING AND OBSERVING PROBE SHAPE OF SCANNING PROBE MICROSCOPE

Patent Number: JP10185931

Publication date: 1998-07-14

Inventor(s): YOSHIDA SHIGEKI

Applicant(s): CANON INC

Requested Patent: JP10185931

Application Number: JP19960356899 19961226

Priority Number(s):

IPC Classification: G01N37/00; G01B7/34; G01B21/30

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To execute observation of high resolution by measuring the reference sample of already known geometrical shape, performing deconvolution in true shape, quantitatively finding lowering of spatial resolution of a probe, and detecting the shape of the probe.

SOLUTION: A reference sample having an already known shape profile x_1 is measured to obtain a profile y_1 . The profiles x_1 , y_1 are Fourier- transformed to find X_1 and Y_1 respectively. A function H_1 showing lowering of resolution by shape of a probe used for measurement is found by a computer as $H_1=Y_1/(X_1+\alpha)$ (several % of the maximum value of α)

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-185931

(43)公開日 平成10年(1998)7月14日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 1 N 37/00

G 0 1 B 7/34
21/30

識別記号

F I
G 0 1 N 37/00
G 0 1 B 7/34
21/30

C
G
Z
Z

審査請求 未請求 請求項の数4 FD (全5頁)

(21)出願番号 特願平8-356899

(22)出願日 平成8年(1996)12月26日

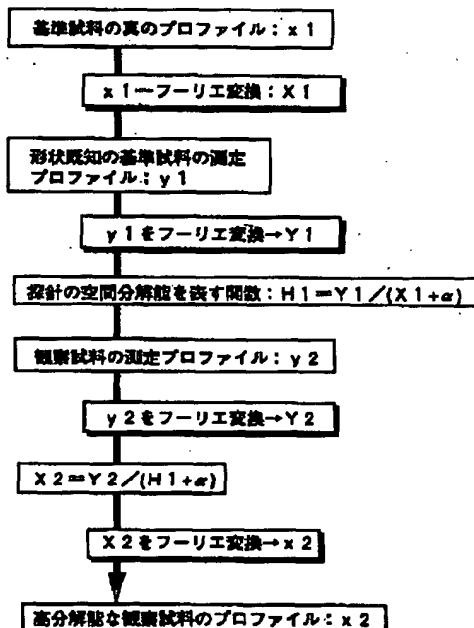
(71)出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(72)発明者 吉田 茂樹
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内
(74)代理人 弁理士 長尾 達也

(54)【発明の名称】走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法及び観察方法

(57)【要約】

【課題】本発明は、探針先端形状の把握を定量的に、正確かつ迅速に行うことのできる走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法と、この方法により得られた情報を用いて高い分解能の像を得ることのできる走査型探針顕微鏡の観察方法を提供することを目的としている。

【解決手段】本発明の探針形状検出方法は、探針と試料間に作用する物理力を検出することにより試料の表面形状を観察する走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法において、幾何的形状が既知な基準試料を測定して得た形状を、真の基準試料の形状でデコンボリューションすることによって、前記測定に用いた探針の空間分解能の低下を定量的に求め、該探針の形状を検出することを特徴とするものであり、また本発明の走査型探針顕微鏡の観察方法は、探針形状検出方法によって得られた情報を用いてデコンボリューションすることにより、高い分解能の像を得ることを特徴とするものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】探針と試料間に作用する物理力を検出することにより試料の表面形状を観察する走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法において、幾何的形状が既知な基準試料を測定して得た形状を、真の基準試料の形状でデコンボリューションすることによって、前記測定に用いた探針の空間分解能の低下を定量的に求め、該探針の形状を検出することを特徴とする走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法。

【請求項2】前記デコンボリューションがフーリエ変換を用いてなされることを特徴とする請求項1に記載の探針形状検出方法。

【請求項3】探針と試料間に作用する物理力を検出することにより試料表面形状を観察する走査型探針顕微鏡の観察方法において、前記探針により観察試料の表面形状像を計測し、これにより得られた像を請求項1または請求項2に記載の探針形状検出方法によって得られた情報を用いてデコンボリューションすることにより、高い分解能の像を得ることを特徴とする走査型探針顕微鏡の観察方法。

【請求項4】前記デコンボリューションがフーリエ変換を用いてなされることを特徴とする請求項3に記載の走査型探針顕微鏡の観察方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は走査型トンネル顕微鏡（STM）または原子間力顕微鏡（AFM）などの走査型探針顕微鏡（SPM）の探針形状検出方法及び観察方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】SPMは表面形状を測定する手段として有効であり、原子オーダーから数ミクロンの凹凸を評価できることから、LB膜のドメイン構造からハードディスク表面の微細な凹凸パターンの表面形状や超LSIの微細パターンの表面形状の把握など、幅広く利用されている。例えば、トレンチの幅がサブミクロン以下、深さが1ミクロン程度のデバイス、ナノメーターのオーダーの微細な凹凸の試料を走査型探針顕微鏡で観察する場合、試料の正確な表面像を得るには該探針の先端形状が結果に強く影響を及ぼす。

【0003】すなわち、探針先端の曲率が大きいと試料表面の凹凸に探針先端が入り込めずに正確な表面形状を得ることはできない。このように、測定によって得られる像の分解能は探針の形状に強く依存し、正確な表面像を得るためにあらかじめ測定に用いる探針の先端形状を評価しておく必要があった。そこで、四角柱凸状パターンによって探針形状を判定したり（特開平3-122514号公報）、金コロイド粒子により任意方向の探針の断面形状を計測したり（特開平7-248332号公報）、探針の先端形状を測定するための基準試料によっ

て得られる像と基準試料をある仮定した形状を持った探針で測定したときの像をシミュレーションによって計算し、両者が一致するようにすることで探針の形状を把握する（特開平7-174769号公報）などのように様々な探針の先端形状を評価する方法が提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来例によれば、探針先端形状の定性的な把握はできても定量的な扱いができなかったり、定量的な把握ができてもシミュレーションの試行錯誤によって探針形状の把握を行なうため時間を要したり、一意性に欠くことがあった。また、得られた探針の形状から観察試料の像の分解能について解説はできるが、その結果から直接高分解能の像を得ることはできなかった。

【0005】そこで、本発明は、上記従来技術における課題を解決し、探針先端形状の把握を定量的に、正確かつ迅速に行なうことのできる走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法と、この方法により得られた情報を用いて高い分解能の像を得ることのできる走査型探針顕微鏡の観察方法を提供することを目的としている。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を解決するために、走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法及び観察方法をつぎのように構成したことを特徴としている。

【0007】

まず、本発明の探針形状検出方法は、探針と試料間に作用する物理力を検出することにより試料の表面形状を観察する走査型探針顕微鏡の探針形状検出方法において、幾何的形状が既知な基準試料を測定して得た形状を、真の基準試料の形状でデコンボリューションすることによって、前記測定に用いた探針の空間分解能の低下を定量的に求め、該探針の形状を検出することを特徴としている。そして、この探針形状検出方法におけるデコンボリューションは、フーリエ変換を用いてなされることを特徴としている。また、本発明の観察方法は、探針と試料間に作用する物理力を検出することにより試料表面形状を観察する走査型探針顕微鏡の観察方法において、前記探針により観察試料の表面形状像を計測し、これにより得られた像を上記した本発明の探針形状検出方法によって得られた情報を用いてデコンボリューションすることにより、高い分解能の像を得ることを特徴としている。そして、この探針形状検出方法におけるデコンボリューションは、フーリエ変換を用いてなされることを特徴としている。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明は、上記構成により、探針の先端形状を形状既知の基準試料によって把握する際、基準試料を測定した形状を基準試料の真の形状でデコンボリューションすることによって個々の探針によって生じる空間分解能の低下を定量的に、しかも正確かつ迅速

に把握することができる。さらに、その情報をもとに観察試料の測定データから空間分解能低下の要因をデータ処理（デコンボリューション）によって取り除くことで高い分解能の像を得ることができる。

【0009】つぎに、本発明による高分解能形状測定の詳細について述べる。図1は本発明による高分解能な走査型探針顕微鏡の観察方法を示した概略図である。はじめに形状既知（ x_1 ）の基準試料を測定し（ Y_1 ）、得られたプロファイルと基準試料の真のプロファイルからフーリエ変換を利用し（ X_1, Y_1 ）、測定に用いた探針の形状すなわち分解能低下の形状をコンピューターによって定量的に関数の形（ H_1 ）で把握する（ $H_1 = Y_1 / (X_1 + \alpha)$: α については後述する）。次に被測定試料を測定し、得られたプロファイル（ y_2 ）から

基準試料の真のプロファイル	$x_1 \rightarrow f_t$	X_1
探針による広がりを表す関数	$h_1 \rightarrow f_t$	H_1
基準試料の該探針による測定プロファイル	$y_1 \rightarrow f_t$	Y_1
観察試料の高分解能なプロファイル	$x_2 \rightarrow f_t$	X_2
観察試料の該探針による測定プロファイル	$y_2 \rightarrow f_t$	Y_2

ここで、 $\rightarrow f_t$ はフーリエ変換を表し、小文字の x, y はフーリエ変換前のプロファイルを表し、大文字 X, Y はフーリエ変換したものを表す。基準試料の真のプロファイル x_1 は探針による広がり h_1 で測定された結果 y_1 になる。これをコンボリューション*で表すと $y_1 = h_1 * x_1$ 図2 (a), (c), (e)となり、それぞれをフーリエ変換した場合は積で表すことができる。

$$Y_1 = H_1 \times X_1 \quad \text{図2 (b), (d), (f)}$$

ここで、 X_1 は既知であるので、次のようにして探針による分解能の低下を定量的に把握することができる。

$$H_1 = Y_1 / X_1$$

$$y_2 = x_2 * h_1 \\ \rightarrow Y_2 = X_2 \times H_1$$

であることから、 X_2 は

$$X_2 = Y_2 / H_1 = Y_2 / (Y_1 / X_1)$$

と求まるが、ここでも先と同様に X_2 の高周波領域での増幅を抑えるために、 H_1 に $+\alpha$ を加える。すなわち、 $X_2 = Y_2 / (H_1 + \alpha)$

これをもう一度フーリエ変換すれば、

$$x_2 = f_t (X_2) \quad (f_t \text{はフーリエ変換を表す})$$

と観察試料の高分解能な像が得られる（図3 (f) → (e)）。

【0012】本発明によると、測定データのノイズ成分による H_1 の高周波領域での増幅を抑制したため、回復できる X_2 の有効データ長は短くなってしまうことから、完全に分解能の低下を回復させることはできないが（図3 (a) (e)における点線は観察試料の真の形状を示す）、測定データの空間分解能を定量性を保持したまま大幅に向上させることができる。

先に求めた探針の分解能低下を表す関数（ H_1 ）を用いてフーリエ変換を利用し分解能を向上させる（デコンボリューションする $\rightarrow X_2 = Y_2 / (H_1 + \alpha)$: α については後述する）。さらに、もう一度フーリエ変換を施し、高分解能な像（ y_2 ）を得る。フーリエ変換を利用したデコンボリューションの詳細については後述する。フーリエ変換は線形な演算法であるため、本発明によって得られた高分解能な像は定量性が保持されている。なお、本発明に関する以下の説明は1次元のフーリエ変換を扱うが、同様な考え方で2次元のフーリエ変換で実施することも可能である。

【0010】図2、3は分解能向上の原理、方法を詳細に示した概念図である。

$x_1 \rightarrow f_t$	X_1
$h_1 \rightarrow f_t$	H_1
$y_1 \rightarrow f_t$	Y_1
$x_2 \rightarrow f_t$	X_2
$y_2 \rightarrow f_t$	Y_2

しかし、実際は測定データに含まれるノイズ成分のために H_1 の高周波領域が増幅されてしまうため、これを抑制するために X_1 に $+\alpha$ を加えてから割り算を行なう。 $H_1 = Y_1 / (X_1 + \alpha)$

α の値としては X_1 の最大値の数%以下が望ましい。この α は測定データの質に依存し、ノイズが少ないデータであれば α が小さくても H_1 の高周波領域の増幅は発生せず、より正確な H_1 を求めることができる。 α はできるだけ小さい値の方がよい。

【0011】よって、観察試料の真のプロファイルを求めるには、観察試料のプロファイル y_2 が

図3 (a), (c), (e)
図3 (b), (d), (f)

【0013】

【実施例】以下に、本発明の実施例について説明する。
【実施例1】凸状の基準試料をAFMを用いて測定し、本発明を適用して探針の形状を検出した例について図2を使って示す。基準Siウェハにフォトリソ技術を用いて、幅1μm□、高さ0.5ミクロンの基準試料を用意し、その形状を断面TEMを用いて真のプロファイル x_1 を測定した（図2 (c)）。基準試料をAFMを用いて測定し基準試料のプロファイル y_1 を得る（図2 (a)）。原子間力顕微鏡の観察条件は、プローブとしてSi3N4製の一辺が約5ミクロン程度の四角錐の $t_i p$ を用い、スキャンレート1.92Hzで測定した。次に、探針による分解能の低下を表す関数 h_1 およびそのフーリエ変換した H_1 を y_1, x_1 をそれぞれフーリエ変換したものから求める。すなわち、 $H_1 = Y_1 / X_1$ （図2 (f)）。ここで α は X_1 の最大値の0.01%にした。さらに、 H_1 をフーリエ変換することで h_1 が

得られ(図2(e))、探針の空間分解能の低下を定量的に表す関数を求めることができる。半値半幅は約0.15μmであった。

【0014】[実施例2]連続した凹凸のある試料の表面形状をAFMを用いて測定し、本発明を適用して高分解能な像を得た例について図2、3を使って示す。実施例1と同様にしてこれから観察試料に用いる探針の空間分解能を記述する関数H1を求める(図2(f))。つぎに観察試料0.4ミクロンピッチ、深さ0.5ミクロンの凹凸のある試料を基準試料を測定した探針で測定する。得られたプロファイルをy2とし(図3(a))、これをフーリエ変換したものをY2として(図3(b))。先に求めた探針の分解能を表す関数H1でY2を除してX2を得る。αはH1の最大値の0.005%とした(図3(f))。さらに、これをフーリエ変換して観察試料の高分解能のプロファイルx2が得られる(図3(e))。このように、探針の分解能以上の分解能で試料表面の凹凸を評価することができる。なお、ここでは原子間力顕微鏡を用いたが、基準試料をトンネル電子顕微鏡が充分測定できる程度の導電性試料で作製すれば、トンネル電子顕微鏡においても同様に高分解能な像を得ることができる。

【0015】

【発明の効果】本発明は、以上のように、基準試料の計測値を真の基準試料の形状でデコンボリューションする

ことにより、走査型探針顕微鏡の探針の形状、すなわち、探針毎の形状に依存する分解能の低下を定量的かつ正確、迅速に求め、走査型探針顕微鏡の探針の形状を検出することができる。また、これにより求められた情報を走査型探針顕微鏡の観察方法に用いて、観察試料の測定データから空間分解能低下の要因をデコンボリューションによって取り除き、探針の分解能以上の高い分解能の像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による高分解能な走査型探針顕微鏡の観察方法を示す図である。

【図2】本発明の基準試料による探針の分解能の定量的評価を示す図である。

【図3】本発明のデコンボリューションによる観察試料の空間分解能の向上を示す図である。

【符号の説明】

f t : フーリエ変換

x : フーリエ変換前の基準試料の真のプロファイル

y : フーリエ変換前の基準試料の探針による測定プロファイル

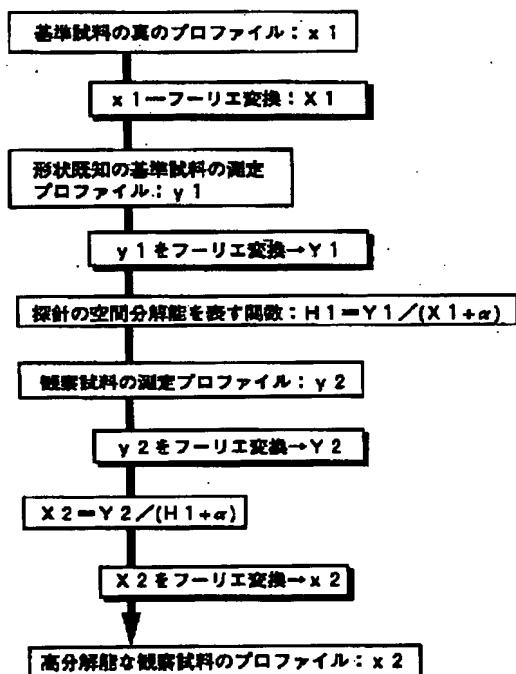
X : xをフーリエ変換したプロファイル

Y : yをフーリエ変換したプロファイル

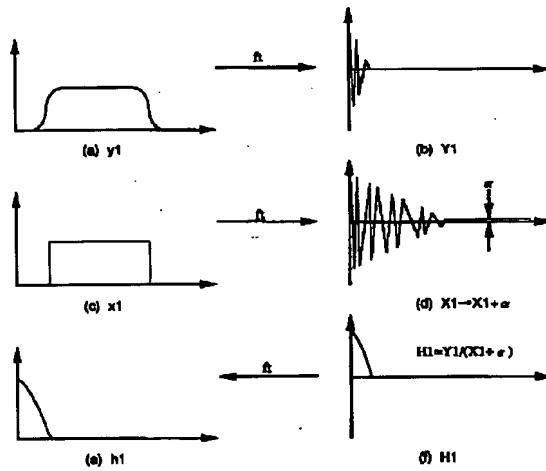
h : 探針による広がりを表すフーリエ変換前の関数

H : hをフーリエ変換した関数

【図1】

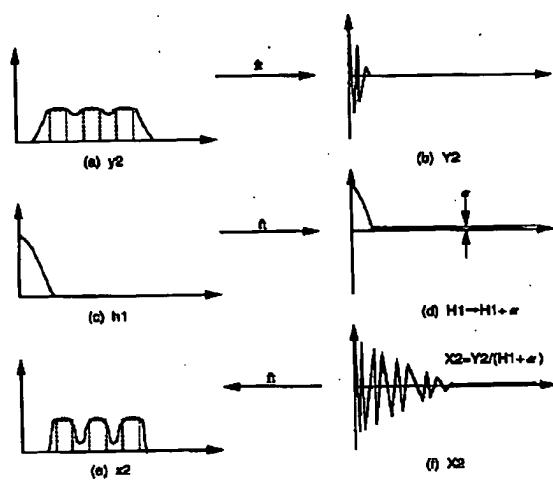


【図2】



基準試料による探針の分解能の定量的評価

【図3】



デコンボリューションによる空間分解能の向上